



⑯ Offenlegungsschrift
⑯ DE 3323896 A1

⑯ Int. Cl. 3:
B 01 D 9/00
C 30 B 11/08
C 30 B 29/06
C 30 B 35/00
B 22 D 27/00

⑯ Aktenzeichen: P 33 23 896.0
⑯ Anmeldetag: 2. 7. 83
⑯ Offenlegungstag: 17. 1. 85

⑯ Anmelder:
Leybold-Heraeus GmbH, 5000 Köln, DE

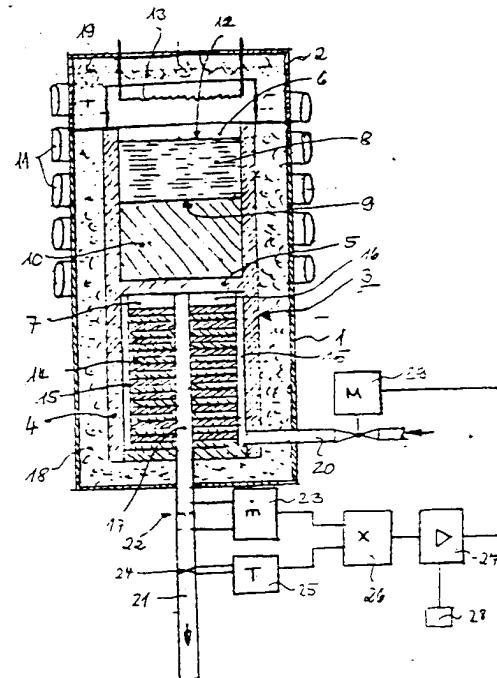
⑯ Erfinder:
Hugo, Franz, Ing.(grad.), 8750 Aschaffenburg, DE;
Schwarz, Wolfgang, Dipl.-Phys. Dr., 6458
Rodenbach, DE

⑯ Recherchenergebnisse nach § 43 Abs. 1 PatG:

DE-PS 30 26 661
DE-AS 22 52 548
DE-OS 22 30 317
FR 12 93 744
GB 13 03 027
US 38 98 051

⑯ Verfahren und Vorrichtung zum gerichteten Erstarren von Schmelzen

Verfahren zum gerichteten Erstarren von Schmelzen (8) mit Schmelzpunkten von mindestens 600°C in einem Tiegel (3) durch Wärmeabfuhr in Richtung auf eine gekühlte Bodenplatte (5). Um hierbei eine ebene Phasengrenze und ein einachsiges Kristallwachstum zu erzielen, wird erfindungsgemäß wie folgt vorgegangen:
a) im Tiegel (3) wird eine isotherme Schmelze (8) erzeugt,
b) die Schmelze (8) wird im Wanderungsbereich der Phasengrenze (9) durch eine Wärmedämmmeinrichtung (18) gegen eine seitliche Wärmeabfuhr geschützt,
c) die gekühlte Bodenplatte (5) wird im Ruhezustand gegenüber der Wärmedämmung (18) gehalten und
d) die Erstarrungswärme wird ausschließlich über die Bodenplatte (5) abgeführt.



5 mindestens einem auswechselbaren Tiegel und einer dem Tiegel zugeordneten Heizeinrichtung sowie mit einer kühlbaren Bodenplatte, dadurch gekennzeichnet, daß der Tiegel (3) auf seiner gesamten Höhe von einer Wärmedämmmeinrichtung (18) umgeben ist, und daß die Bodenplatte (5) stationär gegenüber der Wärmedämmmeinrichtung (18) angeordnet ist.

10 5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß Tiegel (3) und kühlbare Bodenplatte (5) eine Baueinheit darstellen, daß die Tiegelwand (4) nach unten über der Bodenplatte hinausragt und daß in dem dadurch gebildeten unteren Hohlraum (7) ein Wärmetauscher (14) angeordnet ist, der mit der Bodenplatte (5) in wärmeleitender Verbindung steht.

15 6. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß auf der kühlbaren Bodenplatte (5) mehrere Tiegel (3) ruhen, deren Seitenwände einander im wesentlichen flächig berühren.

- A -

- 4 -

Bei den zum Stande der Technik gehörenden Verfahren der vorstehend beschriebenen Art wird ein unten offener Tiegel bzw. eine unten offene Gießform aus einem keramischen Werkstoff auf eine gekühlte Bodenplatte 5 aufgesetzt. Die gesamte Anordnung befindet sich in einer Heizeinrichtung, die von einer Wärmedämmung umgeben ist. Die Schmelze wird in einer hiervon getrennten Vorrichtung erzeugt und in die Gießform abgegossen, wo- 10 auf der Erstarrungsvorgang, ausgehend von der gekühlten Bodenplatte beginnt. Von Anfang ^{an} ist also in der Gieß- form ein Temperaturgradient vorhanden. Durch eine Relativbewegung zwischen Gießform und Heizeinrichtung tritt die Gießform kontinuierlich aus der Heizein- 15 richtung aus. Damit beginnt eine anfänglich geringe, zuletzt aber überwiegende Wärmeabgabe von der Gießform an die Umgebung in radialer bzw. horizontaler Richtung. Die Folge ist eine bei Fortschreiten des Erstarrungsvor- 20 gangs von unten nach oben zunehmend stärker werdende Krümmung der Phasengrenze fest/flüssig, die nicht mehr tolerierbar ist. Weitere Nachteile sind in einer auf- wendigen mechanischen Einrichtung entweder für das Ab- senken der Gießform oder für das Anheben der Heizein- richtung mit Wärmedämmleinrichtung zu sehen (DE-OS 22 30 317).

Es ist auch bereits bekannt, bei einer unten geschlossenen 25 Gießform durch gezielte Änderung der Abkühlungseigen- schaften, beispielsweise durch eingelegte Metallteile oder durch seitliches Anblasen mit einem Kühlmittel das Temperaturgefälle zu beeinflussen. Die dadurch erzwungene

- 5 -

- 6 -

- 6 -

nicht gekühlt ist und infolgedessen die gleiche Temperatur wie die Schmelze annehmen kann. Durch nachträgliches Einschalten der Kühlung läßt sich der Erstarrungsvorgang räumlich und zeitlich exakt einleiten, so daß es
5 nicht erst zu einem unkontrollierten teilweisen Erstarrungsvorgang kommen kann, wie beim Aufgiessen einer Schmelze auf eine bereits gekühlte Bodenplatte.

Durch das Merkmal b) wird jegliche Wärmeabfuhr in radialer bzw. horizontaler Richtung unterdrückt. Auch diese Maßnahme steht im Gegensatz zum Stand der Technik, bei dem die Seitenflächen der Gießform einem Abkühleffekt ausgesetzt werden. Es versteht sich, daß der Schutz gegen eine seitliche Wärmeabfuhr um so größer ist, je besser die Isolierwirkung der Wärmedämmleinrichtung ist. Es läßt sich aber bereits eine ausgezeichnete Wärmedämmung durch Anwendung einer Umhüllung des Tiegels mit Graphitfilz von wenigen Zentimetern Dicke erzielen. Die seitliche Wärmeabfuhr kann dadurch leicht merklich geringer gehalten werden als $0,1 \text{ W/cm}^2$.

20 Durch das Merkmal c), das gleichfalls im Gegensatz zum Stande der Technik steht, wird die Bodenplatte mit dem Tiegel stets innerhalb der Wärmedämmleinrichtung gehalten, so daß eine merkliche seitliche Wärmeabfuhr, insbesondere eine zeitlich veränderliche seitliche Wärmeabfuhr soweit 25 wie irgend möglich ausgeschaltet sind.

Durch das Merkmal d) wird in Verbindung mit den Merkmalen a) bis c) erreicht, daß sich eine praktisch vollständig ebene und horizontale Phasengrenze einstellt, die all-

- 8 -

In Frage kommt auch eine Flüssigkeitskühlung, beispielsweise durch flüssige Metalle, die jedoch bei hohen Temperaturen problematisch ist. Eine Flüssigmetallkühlung macht bestimmte Voraussetzungen hinsichtlich der Werkstoffauswahl für die mit dem Flüssigmetall in Berührung kommenden Teile erforderlich. Denkbar ist auch eine Kühlung mit so genannten "heat pipes", bei denen eine Flüssigkeit an einem Ende einer langen Röhre verdampft und an deren anderem Ende kondensiert wird.

10 Es ist dabei besonders vorteilhaft, die Schmelze während des Erstarrungsvorganges von oben zu beheizen. Auf diese Weise ist der Temperaturgradient beiderseits der Phasengrenze im gesamten Wanderungsbereich beeinflußbar, so daß damit eine Möglichkeit gegeben ist, die Kristallisationsgeschwindigkeit im Wanderungsbereich zu beeinflussen und insbesondere konstant zu halten. Eine Steuerung, die auf empirisch gefundenen Werten beruhen kann, wird in der Regel dazu führen, daß die Heizleistung während des Erstarrungsvorganges kontinuierlich zurückgenommen wird.

15 20 Eine besonders bevorzugte Regelung des erfindungsgemäßen Verfahren ist gemäß der weiteren Erfindung dadurch gekennzeichnet, daß die Kühlmittelmenge und die Temperaturdifferenz des Kühlmittels zwischen Eintritt und Austritt erfaßt werden, daß daraus die pro Zeiteinheit abgeföhrte Wärmemenge bestimmt und mit einem Sollwert verglichen wird, und daß bei einem Abweichen der Wärmemenge vom Sollwert die Durchflußmenge des Kühlmittels pro Zeiteinheit in der Weise verändert wird, daß die Abweichung vom Sollwert ein Minimum ist.

25 Eine solche Regelung führt zu weitgehend konstanten Erstarrungsbedingungen innerhalb des gesamten Wanderungsbereichs der Phasengrenze vom gekühlten Boden bis zum ursprünglichen Flüssigkeitsspiegel. Hierbei ist nämlich zu berücksichtigen, daß der bereits erstarrte Teil des Gußstücks einen im Verlaufe der Erstarrung zunehmenden Wärmewiderstand in vertikaler

- 10 -

- 10 -

Figur 1 einen Vertikalschnitt durch eine Vorrichtung mit einem Tiegel in Verbindung mit einer Regelanordnung zur Regelung des Durchsatzes an Kühlgas, und

5 Figur 2 einen Vertikalschnitt durch eine Anordnung analog Figur 1, jedoch mit dem Unterschied, daß auf dem gekühlten Boden eine Vielzahl von einzelnen Tiegeln angeordnet ist.

10 In Figur 1 ist eine Vorrichtung zum gerichteten Erstarren dargestellt, die aus einer Ofenkammer 1 mit einem abnehmbaren Oberteil 2 besteht. In der Ofenkammer 1 befindet sich ein auswechselbarer Tiegel 3 mit einer zylindrischen Tiegelwand 4, in deren Mitte, d.h. etwa auf halber Höhe, ein kühlbarer Boden 5 angeordnet ist. Der Tiegel besitzt dadurch einen H-förmigen Längsschnitt mit einem oberen Hohlraum 6 und einem unteren Hohlraum 7.

20 Wie bereits ausgeführt, dient der Tiegel 3 gleichzeitig als Aufschmelzbehälter und als Gießform. Hierfür ist der obere Hohlraum 6 vorgesehen, in dem sich anfänglich (nicht dargestellt) das feste Ausgangsmaterial befindet. Nach dem Aufschmelzvorgang ist der obere Hohlraum 6 zunächst mit Schmelze 8 angefüllt, d.h. der Boden 5 wird hierbei keiner Kühlung unterworfen. Sobald jedoch die Kühlung einsetzt, wandert vom Boden 5 allmählich eine Phasengrenze 9 (Erstarrungsfront) nach oben, unterhalb welcher sich der erstarrte Teil 10 des Gußstücks befindet. Es ist zu erkennen, daß die Phasengrenze 9 horizontal verläuft und eben ist.

- 11 -

- 12 -

ist mit einer entsprechenden Wärmedämmeinrichtung 19 ausgekleidet. Auf diese Weise wird verhindert, daß merkliche Wärmemengen in seitlicher Richtung abgeführt werden. Vielmehr ist eine Abfuhr der Erstarrungswärme 5 praktisch ausschließlich über die Bodenplatte 5 möglich. Es ist weiterhin ersichtlich, daß die gekühlte Bodenplatte 5 gegenüber der Wärmedämmeinrichtung 18 und der Heizeinrichtung 11 stationär angeordnet ist.

Aus Figur 1 ist weiterhin zu entnehmen, daß der untere Hohlraum 7 bzw. der Wärmetauscher 14 mit einer Eintrittsleitung 20 und einer Austrittsleitung 21 für ein gasförmiges Kühlmittel verbunden sind. In der Austrittsleitung 21 befindet sich eine Blende 22 für die Messung des Kühlmitteldurchsatzes pro Zeiteinheit. Dieser Kühlmitteldurchsatz wird mittels eines Mengenmessers 23 in 10 15 an sich bekannter Weise bestimmt.

In der Austrittsleitung 21 befindet sich weiterhin ein Temperaturfühler 24, dessen Meßwert einer Temperaturmeßeinrichtung 25 zugeführt wird. Die Ausgänge von 20 Mengenmesser 23 und Temperaturmeßeinrichtung 25 werden einem Multiplikator 26 zugeführt, in dem die pro Zeiteinheit abgeführte Wärmemenge bestimmt wird. Der entsprechende Meßwert wird in einem Regler 27 mit einem von einem Sollwertsteller 28 kommenden Sollwert verglichen, und etwaige Abweichungen werden einem Stellglied 29 zugeführt, das durch ein in der Eintrittsleitung 20 angeordnetes Regelventil gebildet wird.

- 14 -

- 14 -

mit der Bodenplatte 5 aufgeheizt, die zu diesem Zeitpunkt nicht vom Kühlmittel durchströmt ist. Dadurch schmilzt der Inhalt der Tiegel 3 auf, und eine Wärmeabfuhr in seitlicher Richtung wird durch die Wärmedämmmeinrichtung 18 wirksam verhindert, die sowohl seitlich als auch oberhalb und unterhalb der Bodenplatte 5 angeordnet ist und auch die Heizeinrichtungen 11 und 11a umgibt. Ein seitlicher Wärmeabfluß wird aber nicht nur durch die Wärmedämmmeinrichtung 18 verhindert, sondern die in einer Vielzahl vorhandenen Tiegel 3 schirmen sich nach den Seiten hin auch gegenseitig ab, so daß das Temperaturprofil über alle Tiegel 3 als außerordentlich gleichförmig anzusehen ist.

15 Sobald nun der Erstarrungsvorgang eingeleitet werden soll, wird die untere Heizeinrichtung 11a abgeschaltet und die Bodenplatte 5 mit dem Kühlmedium beaufschlagt. Auch in diesem Falle ist ein Wärmefluß nur in axialer Richtung, d.h. in Richtung zur Bodenplatte 5 hin möglich, 20 so daß ein absolut einachsiges Kristallwachstum erreicht wird.

Die Anordnung zur Regelung der Kühlleistung ist gegenüber Figur 1 modifiziert. Zur Messung der Temperaturdifferenz befinden sich in der Eintrittsleitung 20 und in der Austrittsleitung 21 Temperaturfühler 31 und 32, deren Ausgangssignale dem Regler 27 zugeführt werden. Eintrittsleitung 20 und Austrittsleitung 21 sind zum Zwecke der Gasersparnis zu einem Kreislauf geschaltet, in dem ein

- 16 -

der Entalpie im erstarrten Teil 10 verhältnismäßig gering gegenüber der freigesetzten Erstarrungswärme, jedoch kann auch ein solches Verhalten durch die Vorgabe eines gleitenden Sollwerts kompensiert werden.

Nicht gezeichnet

Nummer: 33 23 896
Int. Cl. 3: B 01 D 9/00
Anmeldetag: 2. Juli 1983
Offenlegungstag: 17. Januar 1985

18.

FIG. 1

